



SKRINING BAKTERI LIPOLITIK PENDEGRADASI POLYSTRENE (PS) DARI TPU BONOLOYO, TPS MAKAM HAJI, DAN ALIRAN SUNGAI BENGAWAN SOLO

Ilham Surya Halim¹ & Triastuti Rahayu^{2*}

^{1&2}Program Studi Pendidikan Biologi, Fakultas Keguruan dan Ilmu Pendidikan,
Universitas Muhammadiyah Surakarta, Jalan A. Yani, Sukoharjo,
Jawa Tengah 57169, Indonesia

*Email: tr124@ums.ac.id

Submit: 28-04-2024; Revised: 18-06-2024; Accepted: 21-06-2024; Published: 30-06-2024

ABSTRAK: Sampah merupakan permasalahan lingkungan yang disebabkan oleh aktivitas makhluk hidup. Kelompok sampah sintesis atau yang sering dijumpai dalam bentuk plastik dan sejenisnya merupakan kelompok sampah yang sangat sulit untuk didegradasi. Hal tersebut dapat ditanggulangi dengan menggunakan bakteri lipolitik. Penelitian ini bertujuan untuk menganalisis bakteri lipolitik yang dapat digunakan sebagai biodegradasi sampah plastik pada TPU Bonoloyo, TPS Makam Haji, dan aliran sungai Bengawan Solo. Penelitian ini menggunakan metode deskriptif kuantitatif. Screening bakteri lipolitik pendegradasi polystyrene (PS) bahwa populasi bakteri lipolitik tertinggi yaitu pada isolat asal tempat pemakaman umum sebesar 15,6 x 104. Sedangkan skrining lipolitik dengan rata-rata tertinggi zona bening yang terbentuk yaitu 0,641 cm yang berasal dari TPS 1, kemudian rata-rata indeks lipolitik tertinggi berasal dari SBS 2 dengan angka 1,6525 cm, untuk rerata diameter koloni terbesar berasal dari sampel tanah TPS 1 sebesar 0,45 cm. Sifat degradatif bakteri terhadap plastik di atas menunjukkan bahwa sungai Bengawan Solo memiliki mikroba dengan kemampuan yang paling tinggi dibandingkan dengan mikroba asal TPS dan TPU yaitu sebesar 22,42%. Dengan degradasi antara TPU, SBS, dan TPS secara signifikan adalah sama. Degradasi PS pada TPU Bonoloyo menunjukkan perubahan fisik yang signifikan.

Kata Kunci: Bakteri Lipolitik, Sampah Plastik, Biodegradasi.

ABSTRACT: Waste is an environmental problem caused by the activities of living things. The synthetic waste group or what is often found in the form of plastic and the like is a group of waste that is very difficult to degrade. This can be overcome by using lipolytic bacteria. This research aims to analyze lipolytic bacteria which can be used to biodegrade plastic waste in the Bonoloyo TPU, Makam Haji TPS, and the Bengawan Solo river flow. This research uses quantitative descriptive methods. Screening for lipolytic bacteria degrading polystyrene (PS) showed that the highest population of lipolytic bacteria isolated from public burial places of 15.6 x 104. Meanwhile, lipolytic screening with the highest average clear zone formed was 0.641 cm which came from TPS 1, then average -The highest average lipolytic index came from SBS 2 with a figure of 1.6525 cm, the largest average colony diameter came from TPS 1 soil samples at 0.45 cm. The degradative nature of bacteria on plastic above shows that the Bengawan Solo river has microbes with the highest ability compared to microbes from TPS and TPU, namely 22.42%. The degradation between TPU, SBS, and TPS is significantly the same. PS degradation in Bonoloyo TPU shows significant physical changes.

Keywords: Lipolytic Bacteria, Plastic Waste, Biodegradation.

How to Cite: Halim, I. S., & Rahayu, T. (2024). Skrinig Bakteri Lipolitik Pendegradasi Polystyrene (PS) dari TPU Bonoloyo, TPS Makam Haji, dan Aliran Sungai Bengawan Solo. *Bioscientist : Jurnal Ilmiah Biologi*, 12(1), 1178-1193. <https://doi.org/10.33394/bioscientist.v12i1.11428>



Bioscientist : Jurnal Ilmiah Biologi is Licensed Under a CC BY-SA [Creative Commons Attribution-ShareAlike 4.0 International License](https://creativecommons.org/licenses/by-sa/4.0/).

Uniform Resource Locator: <https://e-journal.undikma.ac.id/index.php/bioscientist>



PENDAHULUAN

Plastik merupakan komoditi yang sering digunakan dalam kehidupan sehari-hari tetapi menimbulkan masalah lingkungan. Hal ini dikarenakan plastik membutuhkan waktu yang cukup lama untuk degradasi yaitu sekitar 300-500 tahun (Utami & Widiarti, 2014). Plastik ini menjadi penyumbang sampah terbesar kedua nasional setelah sisa makanan yaitu sebesar 18,11%. Demikian juga di Surakarta dengan persentase sebesar 22,73% (SIPSN, 2022). Jenis sampah plastik didominasi sampah makro dan sampah meso (Rahayu & Prio, 2020). Sampah makro didominasi oleh plastik (84%) seperti tutup botol, botol plastik, sedotan, garpu, sendok, gelas plastik, bungkus makanan, korek apik gas, tali rafia botol sampo dan sikat gigi, sedangkan sampah meso berupa puntung rokok dan biji plastik. Kondisi tersebut memerlukan pengelolaan sampah plastik secara serius. Penggunaan bahan dasar plastik dalam kegiatan industri semakin meningkat. Dari seluruh jenis sampah plastik, *polyethylene* (PE) merupakan plastik yang paling banyak di produksi sebanyak 37,3 ton diperkirakan akan terus meningkat (Tang *Et al.*, 2020).

Pengelolaan sampah plastik dapat dilakukan dengan memanfaatkan bakteri lipolitik sebagai jasad pengurai plastik karena memproduksi enzim yang mendukung degradasi sinergis mencakup peningkatan aktivitas enzimatis lipase secara signifikan ketika ditanam dalam konsorsium dibandingkan dengan strain tunggal yang dapat memutus rantai monomer yang dapat diambil dan Bakteri Pengurai Plastik (Roberts, 2020). Beberapa jenis bakteri terbukti mampu melakukan degradasi sampah plastik dari tempat pembuangan sampah, jenis bakteri tersebut antara lain *Acinetobacter* sp mampu mendegradasi polietilen Genus *Brevibacillus* sp, *Pseudomonas* sp dan *Rhodococcus* sp. Bakteri ini memiliki karakter pendegradasi bahan organik seperti proteolitik, amilolitik, selulolitik dan lipolitik (Atik & Maya, 2015). Genus *Bacillus* mampu mendegradasi plastik hitam tertinggi yaitu presentase kehilangan berat mencapai 1,997% dan regangan relatifnya mencapai 0,069 (Murti, 2014). Bakteri lipolitik banyak dimanfaatkan sebagai biodegradasi permasalahan sampah plastik di lingkungan.

Salah satu jenis plastik yang sulit terurai adalah jenis plastik *Polystyrene* (PS) yang biasa disebut styrofoam. Sejauh ini diidentifikasi 2 permasalahan yang dapat ditemui dalam pengolahan limbah PS yang dilakukan oleh pelaku daur ulang plastik lokal. Pertama, limbah PS jarang dimanfaatkan oleh pelaku daur ulang plastik karena relatif lebih sulit diolah. Dalam proses pengolahan daur ulang sampah PS dibutuhkan treatment lebih daripada pengolahan sampah termoplastik lain seperti LDPE, HDPE, dan PP. Kedua, Material hasil daur ulang PS berupa papan sheet press kurang kuat karena berdasarkan pada sifat aslinya yang mudah pecah, selain itu hasil daur ulang PS banyak menghasilkan gelembung udara yang terperangkap ketika material sudah padat. Gelembung udara tersebut merupakan styrene yang muncul saat dilakukan proses pemanasan ketika melelehkan material, sehingga gelembung yang terperangkap akan menghasilkan rongga-rongga kecil yang banyak beredar di dalam papan daur ulang PS (U. Rohmah, 2022). Hal inilah yang menyebabkan dampak negatif bagi lingkungan, pengolahan limbah PS yang tidak benar justru akan semakin memperburuk pencemaran baik di tanah maupun udara sehingga penggunaan bakteri sebagai biodegradasi limbah PS menjadi bioalternatif bagi lingkungan. Plastik *Polystyrene* (PS) biasanya banyak



dimanfaatkan sebagai tempat makanan, sebagai pelindung barang rawan pecah, sebagai bahan tambahan terhadap aspal campuran, dan masih banyak kegunaan lainnya (Hudoyo *Et al.*, 2021). Material tersebut memiliki karakteristik clear, glossy, rigid, dan mudah pecah. PS memiliki kualitas optikal yang baik dengan harga yang relatif murah dari pada PET (Ashby & Johnson, 2013). Material ini dapat ditemui pada produk-produk rumah tangga seperti kemasan kue kering, peralatan makan, botol minum, pembungkus CD, dan mainan anak (*Precious Plast. Community Acad.*, 2022).

Biodegradasi plastik merupakan sebuah upaya untuk mengurai sampah plastik menggunakan agen biologi seperti bakteri dan jamur sehingga sangat minim akan resiko pencemaran berikutnya. Bakteri yang dapat digunakan sebagai agen tersebut antara lain *Bacillus* dan *Pseudomonas* yang mampu mendegradasi asam flatat yang merupakan komponen produksi plastik. Selain itu *Pseudoalteromonas caenipelagi* dan *Pseudomonas aeruginosa* juga dilaporkan mampu mendegradasi sampah plastik (Novitasari *Et al.*, 2023) (Fittuqo & Nafidz, 2024).

Salah satu metode yang digunakan untuk mempelajari proses biodegradasi plastik yaitu dengan metode Kolom Winogradsky. Kolom Winogradsky merupakan ekosistem mikrobial buatan yang berfungsi sebagai sumber kultur bakteri jangka panjang. Kolom ini selain berfungsi menyediakan sumber makanan untuk inokulum, juga berfungsi untuk menguji proses degradasi. Dalam kolom Winogradsky lingkungan bakteri untuk proses degradasi dapat dikondisikan secara aerob dan anaerob untuk skala laboratorium (Badriyah, 2015). Kolom Winogradsky yang dilakukan secara aerob memiliki kelebihan dalam proses degradasi plastik oleh bakteri. Pada keadaan aerob, beberapa mikroorganisme menggunakan oksigen sebagai elektron asektor terakhir. Kemampuan penggunaan oksigen ini mempengaruhi tingkat pertumbuhan bakteri pada kolom Winogradsky. Pada kolom tersebut akan terbentuk zona aerob dan anaerob (Isti'annah, 2020). Penggunaan tanah pada metode ini bertujuan untuk mengetahui ada tidaknya pertumbuhan dari bakteri lipolitik, sehingga limbah plastik pada TPS tertentu dapat menunjukkan adanya penguraian oleh bakteri atau tidak (Adityaradja *Et al.*, 2023). Sedangkan pada tanah makam menunjukkan keberadaan bakteri lipolitik yang optimal akibat adanya proses pembusukan jasad manusia setiap harinya (Rini *Et al.*, 2023).

Tanah merupakan sumber potensial untuk bakteri yang dapat mendegradasi polimer karena sebagian besar bakteri dari tanah TPA telah beradaptasi dengan lingkungannya yang memiliki banyak limbah organik dan anorganik termasuk styrofoam. Pembentukan biofilm bakteri pada permukaan Styrofoam menandakan adanya pertumbuhan bakteri pendegradasi yang menggunakan polistiren untuk metabolismenya (Hidayat, 2020). Selain enzim, ada faktor yang dapat memengaruhi proses Uji Biodegradasi yaitu faktor lingkungan diantaranya, suhu, pH, kelembaban struktur kimia Styrofoam, ketersediaan oksigen, dan pasokan nutrisi, dan lain-lain. Suhu optimum untuk pertumbuhan bakteri pendegradasi Styrofoam agar tumbuh secara optimal yaitu 20 - 40°C. dan suhu optimum enzim pada mikroorganisme adalah ± 40 (Insani, 2022).

Mikroorganisme lipolitik terbukti memiliki peran penting pada proses biodegradasi plastik di lingkungan (Setyati, 2016). Sumber potensial ditemukannya mikroorganisme atau bakteri lipolitik indigenous dan diduga dapat mendegradasi



polimer sintetik khususnya PS adalah tanah di Tempat Pembuangan Akhir atau TPA, tempat pemakaman umum (TPU) dan endapan sungai. Pada tanah TPA dan TPS ditemukan berbagai jenis bakteri lipolitik yang terkandung dalam sampah diantaranya adalah *Bacillus sp*, *Staphylococcus aureus* (Rokhim, 2023). TPU juga terbukti menyimpan potensi bakteri lipolitik (Rini, 2023), sedangkan dari endapan sungai sample lumpur hanya ditemukan satu isolate bakteri pendegradasi lemak dan plastik. Adanya bahan pencemar lain seperti limbah tekstil juga merupakan faktor penentu tingkat keragaman bakteri pendegradasi lipid dan plastik (Darmayasa, 2008).

Penelitian Ainiyah (2014) menyatakan bahwa isolasi bakteri pendegradasi plastik yang diambil dari tanah sampah dilakukan dengan metode serial dilution dan dilanjutkan metode spread plate. Setelah 4 bulan, potongan plastik diambil dari Winogradsky Column dengan menggunakan pinset secara aseptis untuk memisahkan biofilm pada plastik. Plastik menunjukkan adanya proses degradasi yaitu terjadi kehilangan berat kering. Rata-rata kehilangan berat kering yang terjadi adalah 1% per bulan. Namun pada panen 3, kehilangan berat kering yang terjadi mengalami penurunan. Dari kehilangan berat kering sekitar 1,14% turun hingga 0% pada panen 4. Hal ini dapat diasumsikan bahwa ada mikroorganisme di tanah sampah yang mampu mendegradasi plastik.

Tujuan penelitian ini adalah memperoleh bakteri potensial pendegradasi plastik khususnya jenis PS. Selanjutnya, isolat tersebut dapat dikembangkan sebagai biodegradator plastik sebagai salah satu upaya untuk mengurangi atau mengelola sampah plastik.

METODE

Penelitian ini merupakan penelitian eksperimen menggunakan satu faktor perlakuan yaitu sumber inoculum bakteri lipolitik yang meliputi 3 perlakuan (tanah sungai, tanah TPU, tanah TPS. Masing-masing perlakuan 3 kali pengulangan. Tahapan penelitian meliputi: pengambilan sampel, pada tanah Sungai Bengawan Solo, TPU Bonoloyo, TPS Makam Haji. Tahapan penelitian meliputi: pengambilan sampel, penyiapan kolom Winogradsky, sterilisasi alat, pembuatan winogradski, pengambilan data, isolasi bakteri, pengamatan mikroskopis dan pengamatan makroskopis. Desain penelitian ini menggunakan rancangan acak lengkap (RAL) dengan satu faktor percobaan yaitu bakteri lipolitik pada sampah plastik *Polystyrene* (PS).

Pengambilan sampel tanah dilakukan di TPU dan TPS serta endapan lumpur Sungai Bengawan Solo (Gambar 1). Teknik sampling yang digunakan yaitu purposive sampling. Pengambilan sampel tanah endapan Sungai dilakukan di Sungai bengawan solo yang berada di area kampus 1 Universitas Muhammadiyah Surakarta dengan sampel yang diambil berada di bawah permukaan air sungai. Sampel tanah makam diambil dari TPU Bonoloyo, Banjarsari, Surakarta, dengan kedalaman ± 50 cm. Sampel tanah pembuangan sementara diambil dari TPS Makam Haji, Makamhaji, Sukoharjo, Surakarta. Sampel tanah yang diambil berada di permukaan tanah. Pada masing-masing tempat terdapat tiga titik untuk pengambilan sampel tanah, lalu ketiga titik pada masing-masing tempat sampel tanah dicampur.



Langkah pembuatan kolom Winogradsky diawali dengan penyiapan 18 botol air mineral berukuran 1,5 liter, kemudian leher air mineral dipotong. Sampel tanah TPU, TPS dan endapan lumpur sungai Bengawan Solo dipisahkan terpisah menjadi 3 ember untuk diadukratakan menggunakan air dari masing-masing tempat. Setelah tercampur merata, disiapkan masing-masing 6 botol untuk setiap sampel, dimasukkan tanah sebanyak 2/3 botol, setelah sampel telah dimasukkan kemudian tutup bagian atas botol plastik dengan plastik pembungkus dan ikat dengan karet gelang. Kolom Winogradsky diletakkan di tempat yang terpapar cahaya (cahaya matahari atau cahaya lampu) dan dibiarkan berkembang selama 2 minggu. Setelah 2 minggu, dimasukkan sampel plastik *Polystyrene* (PS) masing-



masing 3 buah ke dalam 1 botol dan ditutup rapat kembali menggunakan plastik dan diikat dengan karet gelang. Inkubasi selama 3 bulan.

Pengambilan data dilakukan dengan menggunakan metode sampel terbuang sebanyak 2 kali yaitu pada 1,5 dan 3 bulan. Pengambilan data meliputi persen degradasi plastik, potensi bakteri lipolitik, pembentukan biofilm, kondisi fisik sampel plastik, indeks lipolitik (Kumar, 2020).

Persen degradasi plastik dilakukan dengan menimbang berat kering dari sebelum dan sesudah dilakukan pembuatan kolom Winogradsky lalu dikali seratus persen (Sari *Et al.*, 2020).

$$\text{Presentase kehilangan berat} = \frac{w_i - w_f}{w_i} \times 100\%$$

Keterangan :

W_i : berat kering plastik awal sebelum degradasi (gram)

W_f : berat kering plastik akhir setelah degradasi (gram).

Potensi bakteri lipolitik, jumlah koloni dihitung berdasarkan banyaknya koloni yang dapat hidup di media selektif tributyrin agar. Ketebalan biofilm dilakukan dengan pelepasan biofilm dari sampel plastik yang dimasukkan ke dalam akuades steril dalam tabung reaksi dengan volume 100 ml dan di vortex selama 1 menit lalu dilakukan pengukuran ketebalan dengan spektrofotometer. Kondisi fisik dilakukan untuk mengetahui perubahan warna dan bentuk dari sampel plastik. Indeks lipolitik pengamatan dilakukan setiap hari selama 7 hari untuk melihat terbentuknya zona bening di sekitar koloni. Aktivitas lipolitik ditandai dengan munculnya zona bening pada media tributyrin. Indeks lipolitik dapat dihitung menggunakan rumus berikut (Chairunnisa *Et al.*, 2019).

$$\text{Indeks lipolitik} = \frac{\text{diameter zona bening}}{\text{diameter koloni bakteri}}$$

Media selektif tributyrin agar disiapkan dengan perbandingan bahan pembuatan media selektif. Cara pembuatan media selektif volume 1 L adalah sebagai berikut : menimbang pepton 5 gram, *yeast extract* 3 gram, tributyrin 10 gram, dan bacteriological agar 20 gram, kemudian dimasukkan ke dalam erlenmeyer berisi aquades 1 L. Sebagai tempat untuk berkembangbiaknya bakteri, langkah awal dalam pembuatan tributyrin agar dengan mensterilkan meja kerja menggunakan alkohol yang ada di sprayer serta lampu UV selama 1 jam. Langkah selanjutnya dihomogenkan sampai bercampur dengan aquades. Setelah itu media tersebut dilarutkan sampai mendidih menggunakan *hot plate*. kemudian media dimasukkan ke dalam autoklaf selama 30 menit. Selanjutnya media yang telah menghangat dituang ke cawan petri steril dalam area LAF. Kemudian area cawan petri di wrap agar steril, setelah mengeras simpan didalam lemari pendingin selama 24 jam.

Inokulasi bakteri dimulai dengan membuat pengenceran dari biofilm yang ada pada plastik sebanyak 10^{-2} dan 10^{-3} . Sejumlah 12 buah tabung reaksi dengan 9 ml aquades steril di dalam tabung reaksi. Pengambilan biofilm pada plastik melarutkan kedalam aquades steril ambil sejumlah 1 ml. setelah itu dimasukkan kedalam tabung reaksi yang kemudian akan di-vortex selama 10 menit. Hasil



pengenceran pertama diambil menggunakan mikropipet sebanyak 1 ml. kemudian suspensi dimasukkan ke dalam tabung reaksi berikutnya lalu dihomogenkan menggunakan vortex, kegiatan ini dilakukan hingga pengenceran 10^{-3} . Setelah dilakukannya pengenceran yang diinginkan seterusnya pengambilan suspensi sebanyak 0,1 ml menggunakan mikropipet dan meneteskan ke media tributirin agar serta meratakan menggunakan drigalski hingga merata ke seluruh media yang ada pada cawan petri. Cawan petri yang sudah diberikan suspensi dan diratakan maka akan ditutup dengan plastik wrap kemudian dibungkus dengan kertas payung dan di inkubasi selama 24 jam.

Pengamatan populasi bakteri lipolitik dilakukan pada cawan petri yang di dalamnya terdapat biofilm yang sudah di isolasi selama 24 jam. Populasi bakteri lipolitik dihitung dengan *colony counter*. Pengamatan mikroskopis biofilm dilakukan dengan pengambilan biofilm yang ada pada media tributirin agar. Pengambilan biofilm dilakukan secara hati-hati lalu ditaruh ke object glass dan ditutup dengan deck glass. Mengamati dengan mikroskop melalui berbagai pembesaran. Analisis data pengamatan makroskopis dan mikroskopis dengan metode deskriptif menggunakan adanya dokumentasi foto dan tabel. Data diperoleh dari hasil pengamatan makroskopis melalui bentuk koloni, tepi koloni, permukaan koloni, dan warna koloni. Sedangkan pengamatan mikroskopis meliputi masing-masing isolat.

HASIL DAN PEMBAHASAN

Penelitian untuk menyeleksi bakteri lipolitik dari tiga tanah berbeda yaitu lumpur sungai Bengawan Solo (SBS), tanah TPU Bonoloyo (TPU), dan tanah TPS makam haji (TPS) di dalam kolom Winogradsky sebagai pendegradasi plastik PS dapat diamati pada table dan gambar berikut.

Pengamatan Makroskopis

Isolat bakteri yang tumbuh kemudian dilakukan perhitungan untuk mengetahui populasi bakteri lipolitik (Tabel 1).

Tabel 1. Data populasi bakteri lipolitik.

Jenis Tanah	Populasi Bakteri Lipolitik (CFU/ml)
SBS	$9,6 \times 10^4$ CFU/ml
TPS	$7,2 \times 10^4$ CFU/ml
TPU	$15,6 \times 10^4$

Hasil tabulasi menunjukkan bahwa ukuran plastik yang diambil 1x1 cm populasi bakteri lipolitik tertinggi yaitu pada isolat asal tempat pemakaman umum sebesar $15,6 \times 10^4$, kemudian diikuti oleh isolat asal sungai Bengawan Solo sebesar $9,6 \times 10^4$, dan yang terkecil yaitu isolat asal tempat pembuangan sampah yaitu $7,2 \times 10^4$. Hasil tersebut lebih tinggi dari populasi sampel yang diambil dari tanah yang tercemar limbah minyak kelapa sawit dimana populasinya berkisar hanya $1,4 - 1,7 \times 10^4$ (Ibe *Et al.*, 2014). Jumlah bakteri lipolitik asal sungai Bengawan Solo lebih tinggi dari pada sungai Slupia yang berada di utara Polandia dimana dilaporkan populasi bakterinya hanya berkisar $1,3 - 12,9 \times 10^3$ (Skórczewski & Mudryk, 2009). (Rini *Et al.*, 2023) pada TPU ditemukan aktivitas bakteri lipolitik. Hal ini membuktikan korelasi yang kuat antara ketersediaan substrat dengan tubuh



pengurai. Bakteri lipolitik banyak dijumpai jenis tanah TPU dikarenakan adanya pembusukan yang terjadi secara terus menerus dari jasad manusia yang dikebumikan.

Isolat bakteri yang memiliki sifat lipolitik akan membentuk area transparan di sekitar koloni bakteri. Area ini terbentuk karena isolat tersebut memiliki kemampuan untuk menghidrolisis tween-80 menjadi asam lemak dan menghasilkan enzim lipase. Penggunaan CaCl_2 , $2\text{H}_2\text{O}$ dalam media pertumbuhan menghasilkan ion kalsium yang berinteraksi dengan asam lemak. Akibatnya, endapan putih keruh yang terdiri dari asam lemak dan ion kalsium terlihat di sekitar area koloni bakteri (Khairani & Manalu, 2023). Perbedaan enzim lipolitik tergantung pada komposisi media pertumbuhan. Pada kondisi tersebut, terjadi penurunan pH dari 7 (pH media) menuju pH yang lebih asam dan menghasilkan warna dari orange menjadi kuning di sekitar koloni. Peningkatan keasaman ini dikarenakan oleh pelepasan asam lemak hasil degradasi lipid (Ervina *Et al.*, 2020).

Potensi Bakteri dan Indeks Lipolitik

Tabel 2. Hasil rerata analisis kemampuan pembentukan zona bening dan indeks lipolitik.

Kode Isolat	Indeks Lipolitik	Keterangan
SBS1	-	Sungai Bengawan Solo
SBS2	1,56	
TPS1	1,43	Tempat pembuangan sampah
TPS2	-	
TPU1	1,52	Tempat pemakaman umum
TPU2	1,45	

Hasil skrining lipolitik didapati bahwa dari 3 jenis tanah rata-rata indeks lipolitik tertinggi berasal dari SBS2 dengan angka 1,56. Ini menunjukkan bahwa mikroba pada daerah sungai Bengawan Solo tergolong potensial untuk diberdayakan sebagai upaya mengatasi limbah anorganik berupa plastik. Jenis bakteri lipolitik membutuhkan konsentrasi lemak tertentu saat tumbuh. Isolat dengan kemampuan produksi enzim terbaik adalah yang bisa tumbuh baik di media yang mengandung lemak. Bakteri lipolitik menghasilkan enzim lipase yang mengurai trigliserida menjadi gliserol dan asam lemak, membentuk area transparan di sekitar pertumbuhannya (Dewi, 2023). Umumnya minyak bumi merupakan bahan dalam pembuatan plastik, dimana secara tidak langsung plastik mengandung minyak dan didukung oleh bakteri jenis ini, maka akan terjadi degradasi limbah plastik. Oleh sebab itu spesies bakteri dengan penghasil lipase dan biosurfaktan mampu mendegradasi lemak yang berada pada plastik. Sehingga bakteri lipolitik berperan penting sebagai biodegradasi bahan lemak pada plastik (Tzirita *Et al.*, 2018).

Bengawan Solo, sungai terpanjang di Pulau Jawa, mengalir sejauh 600 km melintasi Jawa Tengah dan Jawa Timur. Sungai ini memiliki tingkat aktivitas manusia yang signifikan di bagian hulu, hilir, dan muaranya (Yusron & Jaza, 2021). Sungai ini memiliki sumber di Kabupaten Wonogiri, Jawa Tengah, dan bermuara di Laut Jawa dekat dengan kota Gresik, Jawa Timur. Sebagai sungai terpanjang di Jawa, Bengawan Solo memiliki 2.200 anak sungai dan melintasi 20 kota dan kabupaten di provinsi Jawa Tengah dan Jawa Timur (Wijaya, 2022). Beberapa



penelitian telah mengungkapkan bahwa sungai Bengawan Solo mengalami pencemaran mikroplastik. Temuan menunjukkan bahwa distribusi mikroplastik merata dari hulu hingga hilir Bengawan Solo, dengan konsentrasi tertinggi di bagian hilir mencapai 115-179 partikel per 100 liter. Selain itu, di Sungai Bengawan Solo juga ditemukan banyak mikroplastik jenis serat, dengan rata-rata 31 partikel per 100 liter (Setiyowati *Et al.*, 2024). Bonoloyo merupakan salah satu pemakaman terbesar di Kota Surakarta yang dikelola oleh Pemerintah Kota dan memiliki luas lahan 28 hektar. Pemakaman ini memiliki kontur tanah yang tidak rata, dengan ketinggian antara 112-143 meter di atas permukaan laut, serta terbagi menjadi beberapa blok (Salsabilla *Et al.*, 2024).

Kapabilitas Degradasi Plastik

Metode kuantitatif yang paling sederhana untuk mengukur biodegradasi polimer adalah dengan menentukan kehilangan berat dan degradabilitasnya. Untuk menghitung kehilangan berat, berat potongan plastik diukur sebelum dan setelah masa inkubasi selama 3 bulan.

Tabel 3. Hasil rerata kemampuan degradasi plastik bakteri.

Jenis Tanah	Berat Kering Sebelum (g)	Berat Kering Sesudah (g)	Degradasi Plastik (%)
SBS	0,314	0,2436	22,42
TPS	0,2933	0,2358	21,23
TPU	0,3033	0,2387	21,29

Hasil rerata sifat degradatif bakteri terhadap plastik di atas menunjukkan bahwa sungai Bengawan Solo memiliki mikroba dengan kemampuan yang paling tinggi dibandingkan dengan mikroba asal TPS dan TPU yaitu sebesar 22,42%, nilai standar deviasi (SD) sebesar 0,05. Hal ini memperkuat hasil indeks lipolitik yang sama-sama menunjukkan bahwa mikroba potensial berasal dari sungai Bengawan Solo. Hasil tersebut dipengaruhi oleh beberapa faktor diantaranya suhu, kelembapan, kadar O₂, nutrisi, pH, mineral, jenis mikroba, dan jenis polimernya (Sari *et al.*, 2020; Sofiana *et al.*, 2023). Kemampuan mikroba SBS dalam mendegradasi ternyata belum sebaik mikroba yang berasal dari aliran sungai Musi di Sumatera Selatan yang mana memiliki kemampuan degradasi sebesar 94-98% (Vianti & Purwiyanto, 2020). Namun pada mikroba asal TPS Makam Haji ternyata memiliki kemampuan yang lebih besar dibandingkan mikroba asal tempat pembuangan akhir Air Sebakul, dimana kemampuannya berkisar antara 2,43-17% saja (Sari *Et al.*, 2020). Hingga kini, belum ada riset serupa terkait pemberdayaan bakteri lipolitik asal tempat pemakaman umum untuk mendegradasi polimer, namun hasil yang kami dapatkan didukung dengan riset yang dilakukan oleh Rini (2023) dimana mendapati salah satu indeks bakteri lipolitik sebesar 5,43 diantara seluruh isolatnya. Hubungan antara indeks bakteri lipolitik dan kemampuan degradasi sangat erat kaitannya dengan produksi enzim lipase oleh bakteri ini. Bakteri lipolitik dikenal karena kemampuannya memproduksi lipase, enzim yang memecah lipid menjadi asam lemak dan gliserol (Pham *Et al.*, 2021). Proses degradasi plastik disebabkan oleh biodegradasi plastik terhadap enzim aktif yang dihasilkan oleh strain jamur ini. Kapasitas beberapa strain jamur yang diisolasi dari



lokasi yang terkontaminasi plastik dievaluasi kemampuannya untuk tumbuh pada poliuretan dan urease, aktivitas protease, esterase dan lakase (Kale *Et al.*, 2015).

Kondisi Fisik Sampel Plastik

Sampel plastik hasil degradasi oleh mikroba sungai Bengawan Solo yang mengalami kondisi kotor pekat menunjukkan adanya lapisan kotoran yang membuatnya buram dan tidak transparan. Selain itu, sampel tersebut juga dapat mengalami perubahan bentuk, berkerak tebal, menyusut, mengeluarkan bau tidak sedap, dan mengalami perubahan warna menjadi hitam kecoklatan pekat.

Hasil degradasi plastik oleh mikroba asal TPS menunjukkan beberapa perubahan kondisi. Plastik yang terdegradasi menjadi kotor, dengan adanya lapisan kotoran yang menempel pada permukaannya. Selain itu, bentuk plastik juga mengalami perubahan tidak seperti bentuk awalnya, mungkin menjadi lebih rapuh atau retak. Plastik yang terdegradasi juga dapat mengalami pembentukan kerak tipis yang menempel pada permukaannya. Selain itu, plastik tersebut juga mengalami penyusutan, dengan mengalami perubahan dimensi seperti panjang, lebar, maupun ketebalan. Selama proses degradasi, plastik dapat mengeluarkan bau pekat yang tidak sedap. Selain itu, warna plastik juga mengalami perubahan menjadi hitam sedikit pekat. Degradasi yang nyata pada limbah “lunak” dan “keras” memasak lemak pada konsentrasi awal yang tinggi oleh bakteri (Tzirita *Et al.*, 2018). Degradasi plastik secara biotik mengacu pada kerusakan plastik plastik yang disebabkan oleh organisme. Organisme dapat mendegradasi plastik baik secara fisik dengan menggigit, mengunyah atau fragmentasi pencernaan atau biologi-biasanya melalui proses biokimia. Mikroorganisme termasuk bakteri, jamur, dan serangga, dapat menjadi penyebab utama bertanggung jawab atas degradasi biologis plastik (Zhang *Et al.*, 2021).

Pembentukan Biofilm

Hasil degradasi plastik oleh mikroba asal TPU menunjukkan beberapa perubahan kondisi dengan ukuran plastik 1x1 cm. Plastik yang terdegradasi tidak terlalu kotor, dengan tidak adanya lapisan kotoran yang signifikan pada permukaannya. Selain itu, bentuk plastik setelah terdegradasi tidak jauh berbeda dengan bentuk awalnya. Plastik tersebut mungkin hanya mengalami perubahan yang sedikit. Selama proses degradasi, plastik dapat membentuk kerak yang menempel pada permukaannya, meskipun kerak tersebut tidak pekat. Plastik juga dapat mengalami sedikit penyusutan dalam hal dimensi seperti panjang, lebar, maupun ketebalan. Selama proses degradasi, plastik tidak mengeluarkan bau yang menyengat. Selain itu, warna plastik setelah terdegradasi biasanya berubah menjadi sedikit coklat. bahwa telah terjadi perenggangan molekul kimia penyusun plastik akibat proses degradasi (Rohmah *Et al.*, 2018).

Saat proses biodegradasi plastik, keberadaan biofilm yang melekat pada permukaan polimer dianggap sebagai salah satu tahapannya. Biofilm adalah kumpulan mikroorganisme yang terikat oleh zat polimer ekstraseluler (EPS), membentuk agregat sel. Saat kondisi lingkungan yang tidak menguntungkan, mikroorganisme cenderung membentuk biofilm untuk efisiensi energi (Fadlilah, 2014). mikroorganisme mampu mendegradasi atau memecah polimer alam (seperti lignin dan selulosa) dan polimer sintetik (seperti polietilen dan polistiren) (Rohaeti, 2009). Untuk megradasi polimer tersebut mikroorganisme akan



membentuk formasi biofilm pada permukaan polimer (Artham & Doble, 2008). mikroorganisme mensekresikan senyawa katalitik (berupa enzim dan radikal bebas) membentuk biofilm yang mampu memutus rantai polimer secara progresif menjadi lebih sederhana : oligomer, dimer, dan monomer (Marjayandari & Shovitri, 2015).

Hasil pembentukan biofilm menunjukkan bahwa isolat asal TPS 2 mampu menghasilkan ketebalan yang paling tinggi dibandingkan yang lainnya, sedangkan ketebalan terkecil yaitu pada isolat asal SBS 1 dengan nilai -0,001. Pembentukan biofilm dipengaruhi oleh berbagai faktor, termasuk sifat permukaan, kehadiran nutrisi, dan interaksi antara bakteri dan lingkungannya. Penempelan bakteri pada permukaan dimulai dengan penyerapan molekul ke permukaan tersebut, membentuk lapisan kondisi awal. Sifat lapisan kondisi awal ini dapat bervariasi tergantung pada permukaan dan lingkungan, yang memengaruhi penempelan awal bakteri (Lawrence & Waugh, 2017). Formasi biofilm ini membantu bakteri yang ada di dalamnya untuk efisiensi energi selama tercekam nutrisi (Alex, 2011).

SIMPULAN

Skrining bakteri lipolitik pendegradasi polystene (PS) bahwa populasi bakteri lipolitik tertinggi yaitu pada isolat asal tempat pemakaman umum sebesar $15,6 \times 10^4$. Sedangkan skrining lipolitik dengan rata-rata tertinggi zona bening yang terbentuk yaitu 0,641 cm yang berasal dari TPS 1, kemudian rata-rata indeks lipolitik tertinggi berasal dari SBS 2 dengan angka 1,6525 cm, untuk rerata diameter koloni terbesar berasal dari sampel tanah TPS 1 sebesar 0,45 cm. Sifat degradatif bakteri terhadap plastik di atas menunjukkan bahwa sungai Bengawan Solo memiliki mikroba dengan kemampuan yang paling tinggi dibandingkan dengan mikroba asal TPS dan TPU yaitu sebesar 22,42%. Dengan degradasi antara TPU, SBS, dan TPS secara signifikan adalah sama. Degradasi PS pada TPU Bonoloyo menunjukkan perubahan fisik yang signifikan. isolat tersebut dapat dikembangkan sebagai biodegradator plastik sebagai salah satu upaya untuk mengurangi atau mengelola sampah plastik.

SARAN

Penelitian ini selanjutnya perlu dilakukan peningkatan proses preparasi dimana preparasi ini diharapkan dapat mempermudah proses degradasi. Selain itu bakteri yang didapatkan bisa dijadikan konsorsium dengan bakteri lain agar kemampuan degradasi meningkat. Karakteristik hasil analisis degradasi juga dapat ditingkatkan dengan penggunaan *Scanning Electron Microscope*.

UCAPAN TERIMA KASIH

Penulis mengucapkan terimakasih kepada Tuhan Yang Maha Esa atas rahmat dan karunia-Nya, Ibu, Bapak, adik-adik, keluarga atas doa dan segala perhatiannya, dan teman-teman Pendidikan Biologi UMS 2020 yang senantiasa memberikan semangat dan motivasi. Ucapan terimakasih penulis sampaikan pula kepada Ibu Triastuti Rahayu selaku dosen pembimbing penelitian ini, atas saran, masukan dan kritik terhadap penelitian ini.



DAFTAR RUJUKAN

- Adityaradja, B., Tyastuti, E. M., Sidiq, Y., & Rahayu, T. (2023). Isolation and Identification of Soil Bacteria in Pracimaloyo Public Cemetery. International Conference on Biology Education, Natural Science, and Technology, 1(1), 326–334. <https://proceedings.ums.ac.id/index.php/incobest/article/view/3438>
- Ainiyah, Dewi, Nur; dan Shovitri, Maya; 2014. Bakteri Tanah Sampah Pendegradasi Plastik dalam Kolom Winogradsky. *Jurnal Sains dan Seni Pomits*. Vol. 3, No.2. Hal. 2337-3520. <http://dx.doi.org/10.12962/j23373520.v3i2.6904>
- Arista, Putu, Cindy. 2023. Peranan Mikroorganisme Pendegradasi Plastik: Tinjauan Biodegradasi Plastik, Mekanismenya, serta Mikroorganisme yang Berperan. *Jurnal Pro-Life*. 10(1): 743-755. <https://doi.org/10.33541/jpvol6Iss2pp102>
- Artham, T., & Doble, M. (2008). Biodegradation of Aliphatic and Aromatic Polycarbonates. *Macromol Biosci*, 8, 14–24. <https://doi.org/10.1002/mabi.200700106>
- Ashby, Michael, A; & Johnson, Kara. 2013. Materials and Design: The Art and Science of Material Selection in Product Design. *British Library*. UK. Hal : 128-135. https://books.google.com/books?hl=id&lr=&id=lyDEACMTtUEC&oi=fnd&pg=PP2&dq=Ashby,+Michael,+A%3B+%26+Johnson,+Kara.+2013.+Materials+and+Design:+The+Art+and+Science+of+Material+Selection+in+Product+Design.+British+Library.+UK.+Hal+:+128-135.+&ots=MUR67cnPYt&sig=mdp_vdkAwgfJoCyIgOGvAyLjdic
- Atik, S., & Maya, S. (2015). Potensi Isolat Bakteri Pseudomonas sebagai Pendegradasi Plastik. Institut Teknologi Sepuluh Nopember (ITS) Surabaya. <http://dx.doi.org/10.12962/j23373520.v4i2.13495>
- Badriyah, Laellatul; dan Shovitri, Maya. 2015. Biodegradasi Plastik Putih dalam Kolom Winogradsky. *Jurnal Sains dan Seni ITS*. Vol. 4. No.2. 2337-3520. <http://dx.doi.org/10.12962/j23373520.v4i2.13262>
- Chairunnisa; Riyanto; dan Karim, Abdul. 2019. Isolasi dan Uji Bakteri Lipolitik dalam Mendegradasi Minyak Pada Limbah Cair Kelapa Sawit di Kebun Marihat, Pematang Siantar. *Jurnal Ilmiah Biologi UMA (JIBIOMA)*. 1(2). Hal : 44-52. <https://doi.org/10.31289/jibioma.v1i2.155>
- Darmayasa, I, B, G. 2008. Isolasi dan Identifikasi Bakteri Pendegradasi Lipid (Lemak) Pada Beberapa Tempat Pembuangan Libah dan Estuari Dam Denpasar. *Jurnal Bumi Lestari*. Vol. 8. No. 2. Hal. 122-127. <https://ojs.unud.ac.id/index.php/blje/article/download/2432/1660>
- Dewi, A. S. (2023). *Isolasi dan Identifikasi Bakteri Lipolitik Dari Rhizosfer Kelapa Sawit Yang Menghambat Pertumbuhan Ganoderma Zonatum Murill* (Bachelor's thesis, Fakultas Sains dan Teknologi UIN Syarif Hidayatullah Jakarta). <https://repository.uinjkt.ac.id/dspace/handle/123456789/74390>
- Ervina, E., Ekowati, C. N., & Rosa, E. (2020). Lipolytic-screening of Bacillus genera as Biocontrol candidate In Coffee Plantation. *Jurnal Ilmiah Biologi*



- Eksperimen Dan Keanekaragaman Hayati, 7(1), 31–34.
<http://repository.lppm.unila.ac.id/id/eprint/24746>
- Fadlilah, F. R. (2014). *Potensi Isolat Bakteri Bacillus Dan Pseudomonas Dalam Mendegradasi Plastik Dengan Metode Kolom Winogradsky* (Doctoral dissertation, Insititut Teknologi Sepuluh Nopember).
<https://repository.its.ac.id/105438/1/1510100701> Undergraduate Thesis.pdf
- Fatma, Yulis, Siti; Lemana, Dudi; Handayani, Leni; dkk. 2023. MIKROBIOLOGI LINGKUNGAN. *Makasar : CV. Tohar Media*. Hal. 15-21.
- Fittuqo, M. S., & Nafidz, F. A. (2024). Efektivitas Bakteri *Pseudomonas aeruginosa* dengan Penambahan Garam, Ragi, dan Kunyit Untuk Penguraian Limbah Plastik. *Journal For Energetic Youngsters*, 2(1), 91–98.
<http://112.78.41.197/ojs3smagaku/index.php/journey/article/view/36>
- Hidayat, Tri, Rahayu; Indrawati, Ida; dan Herlina, Tati. 2020. Isolasi dan Identifikasi Bakteri Pendegradasi Styrofoam asal Tanah Tempat Pembuangan Akhir Sarimukti Bandung. *Quagga: Jurnal Pendidikan dan Biologi*. Vol. 12. No. 2. Hal. 110-116.
<https://journal.uniku.ac.id/index.php/quagga/article/view/2353>
- Hudoyo, P. F., Riani, D., & Robby. (2021). Analisis Penggunaan Limbah Plastik Jenis Polystyrene (ps) Sebagai Bahan Tambahan pada Campuran (hrs-wc). *Jurnal Kacapuri*, 4(Vim), 213–222. <http://dx.doi.org/10.31602/jk.v4i1.5158>
- Ibe, I. J., Ogbulie, J. N., Orji, J. C., Nwanze, P. I., Ihejirika, C., & Okechi, R. N. (2014). Effects of Palm Oil Mill effluent (Pome) on soil bacteria and enzymes at different seasons. *International Journal of Current Microbiology and Applied Sciences*, 3(10), 928-934.
https://www.researchgate.net/profile/Ihejirika-Chinedu/publication/354842121_Effects_of_Palm_Oil_Mill_effluent_Pome_on_soil_bacteria_and_enzymes_at_different_seasons/links/614f3c33522ef665fb5ec389/Effects-of-Palm-Oil-Mill-effluent-Pome-on-soil-bacteria-and-enzymes-at-different-seasons.pdf
- Insani, Isti, Sofia; dan Handayani, Fitri. 2022. Pengaruh Suhu Inkubasi Pada Proses Biodegradasi Styrofoam Menggunakan *Pseudomonas* sp. *JAB – STABA*. Vol. 6. No. 1. Hal. 6-10. <https://jurnal.yayasanbaktiasih-bdg.co.id/index.php/jab/article/download/64/44>
- Isti'anah; Aniriani, Gading, Wilda; dan Sulistiono, Eko. 2018. Biodegradasi Plastik LDPE (Low Density Polyethylene) menggunakan Kolom Winogradsky. *Jurnal ENVISCIENCE*. Vol. 4. No. 2. Hal. 96-103.
<https://doi.org/10.30736/4jjev.v4iss2.210>
- Kale, S. K., Deshmukh, A. G., Dudhare, M. S., & Patil, V. B. (2015). Microbial degradation of plastic : a review. *J Biochem Tech*, 6(2), 952–961.
<https://jbiochemtech.com/storage/models/article/RLVOybv0ejQcKcpQrrJRX6AaXOgj4YN8AcBTDS2FzqLBjMD84bucQL8J332/microbial-degradation-of-plastic-a-review.pdf>
- Khairani, K., & Manalu, K. (2023). Isolasi dan Identifikasi Bakteri Lipolitik dari Limbah Cair Kelapa Sawit (*Elaeis quineensis* Jacq.). *BIOEDUSAINS*:



- Jurnal Pendidikan Biologi dan Sains*, 6(1), 1-13.
<https://doi.org/10.31539/bioedusains.v6i1.5285>
- Kumar, Ashok; Gudiukaite, Renata; Gricajeva, Alisa; et al. 2020. Microbial lipolytic enzymes e promising energy-efficient biocatalysts in bioremediation. *Energy*. 192. 116674. Hal. 1-12.
<https://doi.org/10.1016/j.energy.2019.116674>
- Lawrence, J., & Waugh, D. (2017). CO2 laser surface engineering of polyethylene terephthalate (PET) for enhanced meat exudate conditioning film formation and bacterial response. *Lasers in Engineering*, 38(1-2), 37-56.
<https://www.oldcitypublishing.com/journals/lie-home/lie-issue-contents/lie-volume-38-number-1-2/lie-38-1-2-p-37-56/>
- Marjayandari, L., & Shovitri, M. (2015). Potensi Bakteri *Bacillus* sp . dalam Mendegradasi Plastik. *Jurnal Sains Dan Seni ITS*, 4(2), 2–5.
<http://dx.doi.org/10.12962/j23373520.v4i2.13387>
- Murti, A. N. (2014). Isolasi dan karakterisasi bakteri pendegradasi plastik hitam dari tpa (tempat pembuangan akhir) sampah bakung kota bandar lampung dengan teknik konvensional. FMIPA Universitas Lampung.
<http://digilib.unila.ac.id/id/eprint/3804>
- Nofianti, Estin; Lazuardi, Rubiyansyah, Dio; Mellyanawaty, Melly; dan Wardani, Gatut, Ari. 2023. Efektivitas Ulat Hongkong (*Tenebrio molitor* L.) untuk Mendegradasi Sampah Plastik Oriented Polypropylene. *REKAYASA : Journal of Science and Technology*. 16(2): 189-194.
<https://doi.org/10.21107/rekayasa.v16i2.19321>
- Novitasari, A. R., Satyantini, W. H., Andriyono, S., & Sa, N. (2023). Isolasi dan Identifikasi Bakteri Pengurai Mikroplastik Polyethylene Terephthalate dari Sedimen Ekosistem Mangrove Pasir Putih. *Journal of Marine Research*, 12(1), 52–60. <https://doi.org/10.14710/jmr.v12i1.37503>
- Pham, V. H. T., Kim, J., Chang, S., & Chung, W. (2021). Investigation of Lipolytic-Secreting Bacteria from an Artificially Polluted Soil Using a Modified Culture Method and Optimization of Their Lipase Production. *Microorganisms*, 9(12), 2590.
<https://doi.org/10.3390/microorganisms9122590>
- Precious Plastic Community Academy. (2022). The Basic Of Plastic.
- Rahayu, D., & Prio, K. (2020). Di Kabupaten Bengkayang Dan Kota Singkawang (Monitoring Of Marine Litter In Bengkayang District And Singkawang City). 08(1), 9–21.
<http://download.garuda.kemdikbud.go.id/article.php?article=2811904&val=25038&title=IDENTIFIKASI%20JENIS%20DAN%20JUMLAH%20SAMPAH%20LAUT%20DI%20KABUPATEN%20BENGKAYANG%20DAN%20KOTA%20SINGKAWANG%20Monitoring%20of%20Marine%20Litter%20in%20Bengkayang%20District%20and%20Singkawang%20City>
- Rini, Heni, Sulisty, Tyastuti, Erma, Musbita; Sidiq, Yasir; dan Rahayu, Triastuti. (2023). Screening Bakteri Lipolitik dari Makam Bonoloyo, Surakarta. *Jurnal Pembelajaran Dan Biologi Nukleus*. Jilid 9 (3): 496-505.
<https://doi.org/10.36987/jpbn.v9i3.4944>



- Roberts, Cameron; Edwards, Sabrina; Vague, Morgan; et al. 2020. Environmental Consortium Containing Pseudomonas and Bacillus Species Synergistically Degrades Polyethylene Terephthalate Plastic. *American Society For Microbiology*. Vol. 5. No. 6. Hal. 1-20. <https://doi.org/10.1128/msphere.01151-20>
- Rohaeti, E. (2009). Karakterisasi Biodegradasi Polimer. Prosiding Seminar Nasional Penelitian. Pendidikan Dan Penerapan MIPA, Fakultas MIPA, Universitas Negeri Yogyakarta,. [https://eprints.uny.ac.id/12387/1/30.%20Eli%20Rohaeti%20\(248%20-257\).pdf](https://eprints.uny.ac.id/12387/1/30.%20Eli%20Rohaeti%20(248%20-257).pdf)
- Rohmah, U. (2022). Eksplorasi material daur ulang sampah polystyrene (PS) menggunakan metode material-driven design. *Productum: Jurnal Desain Produk (Pengetahuan Dan Perancangan Produk)*, 5(2), 91–100. <https://www.academia.edu/download/95111026/2784.pdf>
- Rohmah, U. M., Shovitri, M., & Kuswyasari, N. D. (2018). Degradasi Plastik Oleh Jamur Aspergillus Serta Suhu 25 0 C dan 35 0 C. *Jurnal Sains Dan Seni ITS*, 7(2), 5–10. <http://dx.doi.org/10.12962/j23373520.v7i2.37207>
- Rokhim, Nur. 2023. Isolation of Staphylococcus aureus and Bacillus sp. on Garbage at TPA Segawe, Tulungagung Regency. *Asian Journal of Natural Sciences*. Vol. 2. No. 1. Hal. 1 – 8. <https://doi.org/10.55927/ajns.v2i1.3005>
- S Alex. (2011). New perspectives in plastic biodegradation. *Journal of Current Opinion in Biotechnology*, 22, 422 – 426FAO. <https://doi.org/10.1016/j.copbio.2011.01.013>
- Salsabilla, P. S., Sidiq, Y., Tyastuti, E. M., & Rahayu, T. (2024). Selection of Proteolytic Bacteria from Bonoloyo Public Burial Place (PBP), Banjarsari, Surakarta, Central Java. *Quagga: Jurnal Pendidikan dan Biologi*, 16(1), 43-50. <https://journal.fkip.uniku.ac.id/quagga/article/view/57>
- Sari, D. P., Amir, H., & Elvia, R. (2020). Isolasi bakteri dari tanah tempat pembuangan akhir (TPA) air sebakul sebagai agen biodegradasi limbah plastik polyethylene. *ALOTROP*, 4(2), 98-106. <https://doi.org/10.33369/atp.v4i2.13833>
- Setiyowati, P. A. I., Bukhori, F. N. F. P., & Ramadani, A. H. (2024). Analysis of Microplastic Abundance in Water and Sediment in The Downstream of The Bengawan Solo River. *BEST Journal (Biology Education, Sains and Technology)*, 7(1). <https://doi.org/10.30743/best.v7i1.8632>
- Setyati, Wilis, Ari; Habibi, Ahmad, Saddam; Subagio; dkk. 2016. Skrining Dan Seleksi Bakteri Simbion Spons Penghasil Enzim Ekstraseluler Sebagai Agen Bioremediasi Bahan Organik Dan Biokontrol Vibriosis Pada Budidaya Udang. *Jurnal Kelautan Tropis*. Vol. 19. No. 1. Hal. 11–20. <https://doi.org/10.14710/jkt.v19i1.595>
- SIPSN - Sistem Informasi Pengelolaan Sampah tahun 2022. <https://sipsn.menlhk.go.id/sipsn/public/data/komposisi>
- Skórczewski, P., & Mudryk, Z. (2009). The occurrence of lipolytic bacteria and the activity of extracellular lipases in a riverine ecosystem. *Oceanological and Hydrobiological Studies*, 38(4), 89-101. <https://sciendo.com/pdf/10.2478/v10009-009-0046-0>



- Sofiana, L., Nofisulastri, N., & Safnowandi, S. (2023). Pola Distribusi Siput Air (Gastropoda) sebagai Bioindikator Pencemaran Air di Sungai Unus Kota Mataram dalam Upaya Pengembangan Modul Ekologi. *Biocaster : Jurnal Kajian Biologi*, 3(3), 133–158. <https://doi.org/10.36312/biocaster.v3i3.191>
- Tang, C.-C., Chen, H.-I., & C-LL, P. B. (2020). Biodegradation of Polyvinyl Chloride (PVC) in *Tenebrio molitor* (Coleoptera: Tenebrionidae) larvae. *Env Int* [Internet]. 145. <https://doi.org/10.1016/j.envint.2020.106106>
- Taskirawati, Ira; Baharuddin; Syahidah; dkk. 2022. Potensi Pengembangan Budidaya Jamur Tiram Bagi Kelompok Tani Di Sekitar Hutan Pendidikan Universitas Hasanuddin. *Jurnal Pengabdian Kehutanan dan Lingkungan*. X(x). 66-78. <http://dx.doi.org/10.23960/rdj.v1i1.5946>
- Tzirita, M., Papanikolaou, S., Chatzifragkou, A., & Quilty, B. (2018). Waste fat Biodegradation and Biomodification by *Yarrowia lipolytica* and a Bacterial Consortium Composed of *Bacillus* sp. and *Pseudomonas putida*. *Engineering In Life Science*, 18, 932–942. <https://doi.org/10.1002/elsc.201800067>
- Utami, M. R., & Widiarti, N. (2014). Sintesis Plastik Biodegradable Dari kulit pisang dengan Penambahan Kitosan dan Plasticizer Gliserol. *Indonesian Journal of Chemical Science*, 3(2252). <https://doi.org/10.15294/ijcs.v4i2.6166>
- Utomo, Nugroho; dan Solin, Dian, Purnawati. 2021. Bahaya Tas Plastik dan Kemasan Styrofoam. *Jurnal Abdimas Teknik Kimia*. Vol. 2. No. 2. Hal. 43-49. <https://pdfs.semanticscholar.org/d76a/6bff2e08d12d0bb96b4cc3cdac2e878f35c7.pdf>
- Vianti, R. O., & Purwiyanto, A. I. (2020). Purifikasi dan Uji Degradasi Bakteri Mikroplastik dari Perairan Muara Sungai Musi, Sumatera Selatan. *Maspari Journal: Marine Science Research*, 12(2), 29-36. <https://doi.org/10.56064/maspari.v12i2.12648>
- Wijaya, D. A. (2022). “Zaman Bahari” di Sungai Bengawan Solo Fenomena Transformasi Pelayaran Sungai di Surakarta “zaman Bahari” di Sungai Bengawan Solo Fenomena Transformasi Pelayaran Sungai di Surakarta. *Jurnal Inovasi Penelitian*, 2(10), 3281-3286. <https://doi.org/10.47492/jip.v2i10.1320>
- Yusron, M., & Jaza, M. A. (2021). Analisis Jenis dan Kelimpahan Mikroplastik serta Pencemaran Logam Berat pada Hulu Sungai Bengawan Solo. *Environmental Pollution Journal*, 1(1). <https://doi.org/10.58954/epj.v1i1.6>
- Zhang, K., Hossein, A., Tubi, A., Fang, J. K. H., Wu, C., & Lam, P. K. S. (2021). Understanding plastic degradation and microplastic formation in the environment : A review *. *Journal Homepage: Wwww.Elsevier.Com/Locate/Envpol*, 274. <https://doi.org/10.1016/j.envpol.2021.116554>